昆 虫 学 报 Acta Entomologica Sinica, July 2010, 53 (7): 754 -766 ISSN 0454-6296

多作稻田生态系统对稻纵卷叶螟及其天敌功能团的影响

林　胜，杨　广，尤民生*，姚凤銮
（福建农林大学应用生态研究所，福州　350002）

摘要：为探明稻田与非稻田生境时空配置对稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*（Guenée）及其天敌功能团产生的生态学效应，分别于 2007 和 2008 年的中稻期，在福建省武夷山试验基地，采用室内观察法、田间剥查法和吸虫器法，系统调查了水稻多作系统和水稻单作系统内稻纵卷叶螟种群及其寄生蜂功能团和捕食性节肢动物个体数量的时序动态；同时通过陷阱诱集法，调查了多作和单作稻田生境边界地表捕食性节肢动物（蜘蛛和昆虫）个体数量的时序动态，以及多作系统中，捕食性节肢动物在稻田和非稻田生境间的迁移动态。结果表明：与辣椒、生姜、玉米和花生等镶嵌种植的稻田，其稻纵卷叶螟幼虫及其寄生蜂功能团个体数量较单一稻田差异不大，而捕食性节肢动物则明显少于单作稻田，但多作稻田边界较单作稻田边界有更多的捕食性节肢动物个体数量（2007 年：多作稻田边界 1 984 ~ 2 294个体，单作稻田边界 1 479 个体；2008 年：多作稻田边界 3 417 ~4 178 个体，单作稻田边界 2 423 个体）。究其原因，主要由于多作系统中捕食性节肢动物更偏好从稻田向非稻田生境迁移，其中捕食性昆虫效应更明显。

关键词：稻纵卷叶螟；单作；多作；寄生蜂；捕食性节肢动物；迁移动态
中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　文章编号：0454-6296(2010)07-0754-13

Effects of polycultural manipulation on population dynamics of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae) and its natural enemies in rice-based ecosystems

LIN Sheng, YANG Guang, YOU Min-Sheng*, YAO Feng-Luan (Institute of Applied Ecology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: To explore the effects of the mosaic arrangement of paddy and non-paddy habitats on the rice leaf folder [*Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée), RLF] and its natural enemies, experiments were carried out during 2007 and 2008 by outdoor sampling, using suction sampler and pitfall trap, and indoor examining for identification and classification of the samples at the Wuyishan Experimental Station of Institute of Applied Ecology (IAE), Fujian Agriculture and Forestry University (FAFU). The polycultural manipulations were arranged by mosaic patterns of paddy plots intercropped with non-paddy plots, which included the plants of chili, ginger, maize and peanut. Monocultural fields of paddy plants were set as controls. The results showed that there was no significant difference in the abundance of RLF and its parasitoid guild between polycultural and monocultural fields. The abundance of predatory arthropods (spiders and insects) in paddy within polycultural fields was significantly less than that within monocultural fields, but the results were reverse in paddy borders, with significantly higher ground-dwelling predators in polycultural fields. This may mainly be due to the preference of predatory arthropods, especially predatory insects, for migrating from paddy into non-paddy habitats within polycultural fields.

Key words: *Cnaphalocrocis medinalis*; monoculture; polyculture; parasitoid; predatory arthropod; movement dynamics

近年来，应用生物多样性保护与生态平衡的原理，利用生物间相互依存、相互制约的自然规律，通过农作物遗传多样性、物种多样性的合理时空配置，增加农田生物多样性的丰度和农田生态系统的稳定性，在避免或减少使用化学农药的情况下有效控制农作物的病虫害，已成为植物保护学科的研究

基金项目：国家“973”计划项目（2006CB100204）；国家科技支撑计划项目（2008BADA5B01）；国家自然科学基金项目（30570309；30871649）。
作者简介：林胜，男，1979 年生，福建闽侯人，博士研究生，主要从事昆虫生态与害虫综合治理研究，E-mail：linsn001@163.com
* 通讯作者 Corresponding author，E-mail：msyou@fjau.edu.cn
收稿日期 Received：2009-12-29；接受日期 Accepted：2010-06-20

热点和重点。

有关植物多样性与植食性节肢动物的关系，Andow(1991)搜集了 209 篇研究报告，共涉及 287 种植食者，发现 51.9% 的物种在多作系统中种群数量较低，仅有 15.3% 的物种有较高的种群数量。当前，国际上提出了一套“推-拉”(push-pull)理论及技术，即利用目标作物与非寄主植物的间作套种(intercropping)或与非目标寄主植物的陷阱式种植(trap cropping)等方式，对害虫起到驱避或引诱作用，从而使害虫从目标作物田中迁出，降低害虫的发生为害(Cook *et al.*, 2007)。该技术已在非洲国家的许多地区得到了广泛推广和应用(Zehnder *et al.*, 2007)，主要通过玉米与一种驱避作物金钱草 *Desmodium uncinatum* (Jacq.) 间作(push)，另一种诱集(陷阱)作物(如象草 *Pennisetum purpureum* Schumach)围绕间作田种植(pull)，2 种非寄主作物的挥发物共同对玉米螟 *Chilo partellus* 起作用，使玉米螟离开间作田(Khan *et al.*, 2000, 2001, 2004; Chamberlain *et al.*, 2006)；但是玉米螟在诱集作物上无法正常完成生活史，大部分在成虫期前死亡(van den Berg, 2006; van den Berg *et al.*, 2006; Khan *et al.*, 2006b, 2007)。据报道，这项技术在控制高粱上的螟虫也同样适用(Khan *et al.*, 2006a)。

稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) 是为害水稻的重要迁飞性害虫。2003 年以来该虫发生日益严重，全国年均发生面积超过 2 000 万 hm^2，年均粮食损失 76 万吨。2007 年，受虫源基数、气候因子、种植条件等因素影响，在我国南方大部分稻区大发生，发生面积 2 530 万 hm^2，为 1990 年以来稻纵卷叶螟发生面积最高年份(刘宇等, 2008)。本研究根据“推-拉”理论和技术的基本原理，采用稻田与非稻田生境镶嵌配置的方法，考察和分析多作稻田与单作稻田稻纵卷叶螟及其天敌功能团的差异，并分析多作系统中地表捕食性节肢动物在稻田与非稻田生境间的迁移动态，旨在揭示农田作物品种多样化配置对保护天敌功能团和调控稻纵卷叶螟的生态学机制，为合理利用农业生物多样性控制作物害虫提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间与地点

试验于 2007 和 2008 年中稻期(6－8 月)在福建农林大学应用生态研究所武夷山试验基地(27°39′10.16″N, 117°53′20.99″E)进行。

1.2 试验设计

采用完全随机区组设计，设置 3 个区组，每个区组划分为 2 个部分[单作(MC)和多作(PC)生态系统]，以 1.5 m 宽的保护行隔开；每部分又均匀地划分为若干小区，各小区面积为 4 m × 5 m，每小区种植 1 种作物，共有 4 科 5 种(水稻、糯玉米、花生、辣椒和生姜)，多作系统须保证与水稻毗邻的为其他 4 种不同处理小区，构成一个小尺度的马赛克分布格局。以单作物稻田为对照。玉米、花生、辣椒和生姜分别于 2007 年 4 月 11－28 日和 2008 年 4 月 18－25 日期间在本田陆续种植完毕，水稻于 6 月 18 日移栽本田，秧龄 35 d。作物生长期间不施用任何化学农药，水肥按常规管理。

1.3 调查方法

1.3.1 稻田内节肢动物调查：在水稻移栽后 10 d (返青)后开始调查，每 15 d 调查 1 次，共调查 5 次。每个区组中两个系统各随机调查 5 个小区，采用吸虫器法(刘雨芳等, 1999a)，每小区抽吸 9 丛水稻(3 × 3)，约 0.25 m^2，同时，采用剥查法，调查相同面积内的稻纵卷叶螟幼虫种群数量，共调查 15 个小区。收集到的样品用 80% 的乙醇溶液浸泡，于室内清样、检出节肢动物，统计捕食性天敌个体数量，并鉴定与稻纵卷叶螟相关的寄生蜂类群。并于稻纵卷叶螟高峰期，从田间各小区随机采集 3～5 龄幼虫 10 头，每个系统各采集 5 个小区，合计 150 头幼虫，于室内保湿饲养连续观察 10 d，收集鉴别稻纵卷叶螟幼虫期主要寄生蜂功能团，并统计个体数量。

1.3.2 稻田边界田埂地表捕食性节肢动物调查：采用陷阱法，参考 Hansen 和 New(2005)、俞晓平等(1999)，略作改进，将无色透明的 PVC 板裁成 50 cm×25 cm 规格作为挡板，在其两侧于头尾两端分别放置 2 个塑料杯(10 cm × 15 cm)，杯口与地面平，将适量丙酸钙防腐剂和洗衣粉溶于清水中配成溶液，将其倒入塑料杯至离杯口 2 cm 处，即成陷阱，放置稻田边界田埂 2 d，收集在稻田与非稻田生境间迁移的地表节肢动物。在陷阱上方安置 PVC 板作为雨披，防止雨水灌入杯子。在辣椒-水稻(C-R)、生姜-水稻(G-R)、玉米-水稻(M-R)、花生-水稻(P-R)和水稻-水稻(R-R)等 5 个类型边界田埂上布置陷阱，每区组各类型边界田埂分别设 5 个陷阱，3 个区组合计 75 个陷阱，对各类型边界田埂朝向稻田与非稻田生境的陷阱分开统计节肢动

物。本研究中以靠近稻田生境一面采集的节肢动物代表节肢动物从稻田向非稻田生境迁出，以靠近非稻田生境(辣椒、生姜、玉米和花生)采集的节肢动物代表节肢动物从非稻田向稻田生境迁入。

调查日期对应的作物移栽/播种天数详见表1和表2。

表1 2007年调查日期与作物移栽/播种后天数对照表

Table 1 Sampling dates in relation to the number of days after transplantion or sowing of crops in 2007

调查日期(mm-dd) Sampling date	移栽(播种)后天数 Days after transplantation or sowing				
	[1] 水稻 Rice	[1] 辣椒 Chili	[2] 玉米 Maize	[2] 花生 Peanut	[2] 生姜 Ginger
06-28	10	66	78	71	61
07-13	25	81	93	86	76
07-28	40	96	12(二茬 Second crop)	101	91
08-12	55	111	27	116	106
08-27	60	126	42	[3] 10	121

[1] 移栽后天数 Days after transplantation; [2] 播种后天数 Days after sowing; [3] 采后 After harvest.

表2 2008年调查日期与作物移栽/播种后天数对照表

Table 2 Sampling dates in relation to the number of days after transplantion or sowing of crops in 2008

调查日期 Sampling date(mm-dd)	移栽(播种)后天数 Days after transplantation or sowing				
	[1] 水稻 Rice	[1] 辣椒 Chili	[2] 玉米 Maize	[2] 花生 Peanut	[2] 生姜 Ginger
06-28	10	64	70	71	65
07-13	25	79	85	86	80
07-28	40	94	12(二茬 Second crop)	101	95
08-12	55	109	20	116	110
08-27	60	124	35	[3] 10	125

[1] 移栽后天数 Days after transplantation; [2] 播种后天数 Days after sowing; [3] 采后 After harvest.

1.4 数据统计分析

多作与单作稻田间的数据比较采用重复测量方差分析(repeated-measure analyses)检验各年度数据的整体差异，对方差分析显著的数据进一步采用LSD进行多重比较；另外，对各年度各调查日期的数据，采用一般线性模型(general linear model)进行多元方差分析，对方差分析显著的数据进一步采用LSD进行多重比较，检验当次调查数据间的差异。多作田中地表捕食性节肢动物在稻田和非稻田生境间的迁移动态比较采用成对 t 检验(paired-samples t test)。所有数据分析均在SPSS 15.0统计软件上进行。在进行方差分析之前，对部分数据进行了平方根或对数转换，以满足模型检验中对数据正态分布的要求。

2 结果与分析

2.1 稻纵卷叶螟幼虫期寄生蜂功能团

2007和2008年室内饲养观察田间采回的稻纵卷叶螟幼虫，共收集到从稻纵卷叶螟幼虫体内羽化的寄生蜂274头，其中2007年87头，2008年187头，经鉴定分别隶属绒茧蜂属 *Apanteles* spp. 2种、黑折脉茧蜂 *Cardiochiles* sp. 和格姬蜂亚科(Gravenhorstiinae) 1种。显然，此3类寄生蜂即为稻纵卷叶螟幼虫期寄生蜂功能团，且在两年内所占个体比例相当，均在30%以上(表3)。

2.2 稻纵卷叶螟及其天敌功能团田间种群动态

2007年共采集到稻纵卷叶螟1 982头，捕食性节肢动物24 689头，稻纵卷叶螟幼虫期寄生蜂100头。全年分析发现，多作稻田稻纵卷叶螟种群数量显著高于单作稻田($P<0.05$)，蜘蛛和捕食性昆虫个体数量均显著低于单作稻田($P<0.05$)，寄生蜂个体数量低于单作稻田，但差异不显著($P>0.05$)(表4)。年度内季节动态分析发现，两类稻田稻纵卷叶螟种群数量均呈先上升后下降的趋势，在7月28日达最大值，其中8月27日多作显著高于单作稻田($P<0.01$)(图1：A)；多作的蜘蛛和捕食性昆虫个体数量总体低于单作稻田(图1：B，C)，蜘

蛛数量近似“S”型上升趋势，仅在 7 月 13 日多作显著低于单作稻田($P<0.05$)(图 1：B)；捕食性昆虫个体数量呈上下波动，在 7 月 13 日和 8 月 27 日多作显著低于单作稻田($P<0.05$)(图 1 ：C)；寄生蜂个体数量呈先上升后下降的趋势，各次调查两类稻田差异均不显著($P>0.05$)(图 1：D)。

表 3　稻纵卷叶螟幼虫期寄生蜂功能团结构(武夷山，2007 – 2008)

Table 3　The structure of parasitoid guilds of *Cnaphalocrocis medinalis* larvae (Wuyishan, 2007 – 2008)

种类 Species	2007		2008		2007 – 2008	
	个体数量 Number of individuals	比例(%) Proportion	个体数量 Number of individuals	比例(%) Proportion	个体数量 Number of individuals	比例(%) Proportion
绒茧蜂属 *Apanteles* spp.	36	41.38	50	26.74	86	31.39
黑折脉茧蜂 *Cardiochiles* sp.	15	17.24	79	42.24	94	34.31
格姬蜂亚科 Gravenhorstiinae	36	41.38	58	31.02	94	34.31
总计 Total	87	100	187	100	274	100

表 4　多作与单作稻田稻纵卷叶螟及其天敌功能团种群数量比较(武夷山，2007 – 2008)

Table 4　Population comparison of *Cnaphalocrocis medinalis* and its natural enemies between the polycultural (PC) and monocultural (MC) rice fields (Wuyishan, 2007 – 2008)

年份 Year	稻纵卷叶螟及其天敌 *C. medinalis* and its natural enemies	多作田的种群数量 Population in PC	单作田的种群数量 Population in MC	*F* 值 *F* ratio	*P* 值 *P* value
2007	稻纵卷叶螟 *C. medinalis*	13.520 ± 1.994	12.907 ± 2.061	4.358	0.047
	蜘蛛 Spiders	98.907 ± 10.130	117.800 ± 11.832	5.655	0.025
	捕食性昆虫 Predatory insects	36.840 ± 4.343	79.227 ± 10.873	14.267	<0.001
	寄生蜂 Parasitoids	0.600 ± 0.120	0.733 ± 0.169	2.480	0.127
2008	稻纵卷叶螟 *C. medinalis*	5.013 ± 0.883	5.547 ± 0.928	2.877	0.102
	蜘蛛 Spiders	71.280 ± 6.203	84.720 ± 7.173	4.726	0.039
	捕食性昆虫 Predatory insects	9.027 ± 1.262	13.333 ± 1.572	8.000	0.009
	寄生蜂 Parasitoids	0.427 ± 0.104	0.347 ± 0.072	0.012	0.913

表中种群数量为平均值 ± 标准误(样本量 = 75)。Population size is described by mean ± *SE* (number of samples = 75).

2008 年共采集到稻纵卷叶螟 792 头，捕食性节肢动物 12 377 头，稻纵卷叶螟幼虫期寄生蜂 58 头。全年分析发现，多作稻田稻纵卷叶螟种群数量略低于单作稻田，但差异不显著($P>0.05$)，蜘蛛和捕食性昆虫个体数量显著低于单作稻田($P<0.05$)，寄生蜂个体数量略高于单作稻田，但差异不显著($P>0.05$)(表 4)。年度内季节动态分析发现，两类稻田稻纵卷叶螟种群数量均呈先上升后下降的趋势，在 7 月 28 日达最大值，各次调查两类稻田差异均不显著($P>0.05$)(图 2：A)；多作的蜘蛛和捕食性昆虫个体数量总体低于单作稻田(图 3：B，C)，蜘蛛个体数量呈先上升后下降趋势，在 8 月 12 日达最大值，7 月 28 日多作显著低于单作稻田($P<0.01$)(图 2：B)；多作的捕食性昆虫总体呈下降趋势，而单作则呈先上升后下降趋势，在 7 月 28 日达最大值，其中在 7 月 28 日和 8 月 12 日，多作显著低于单作($P<0.05$)(图 2：C)；寄生蜂个体数量呈先上升后下降的趋势，各次调查两类稻田差异均不显著($P>0.05$)(图 2：D)。

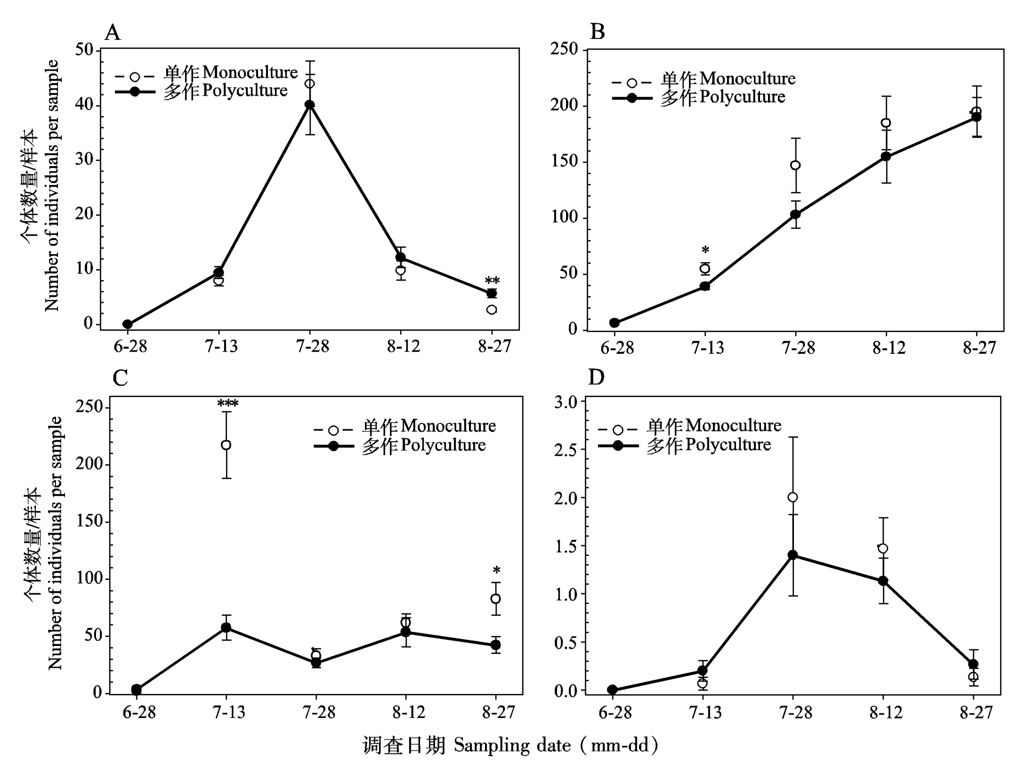


图1 多作与单作稻田稻纵卷叶螟及其天敌功能团个体数量季节动态比较(武夷山, 2007)

Fig. 1 Comparison on seasonal dynamics of *Cnaphalocrocis medinalis* and its natural enemies between the polycultural and monocultural rice fields (Wuyishan, 2007)

A: 稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*; B: 蜘蛛 Spiders; C: 捕食性昆虫 Predatory insects; D: 寄生蜂 Parasitoids. * 0.05 > *P* > 0.01, ** 0.01 > *P* > 0.001, *** *P* < 0.001. 图2同。The same for Fig. 2.

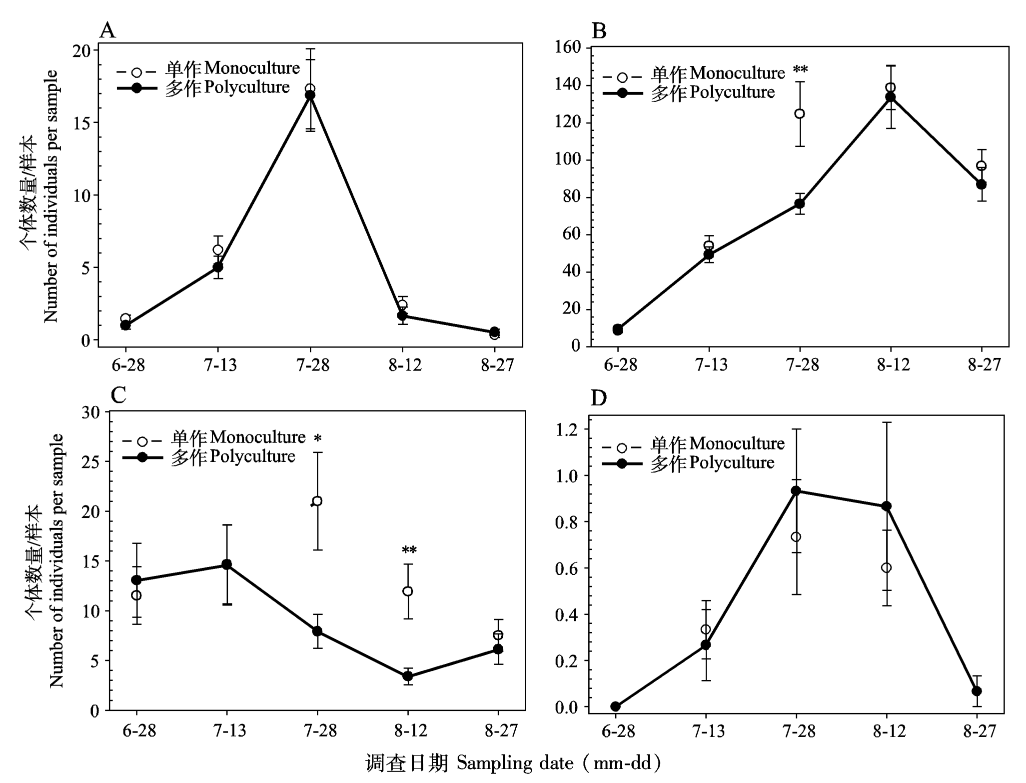


图2 多作与单作稻田稻纵卷叶螟及其天敌功能团个体数量季节动态比较(武夷山, 2008)

Fig. 2 Comparison on seasonal dynamics of *Cnaphalocrocis medinalis* and its natural enemies between the polycultural and monocultural rice fields (Wuyishan, 2008)

2.3　稻田边界田埂地表捕食性节肢动物个体数量季节动态

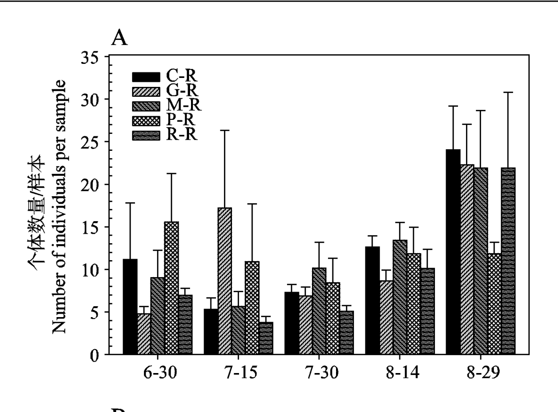
2007 年，在稻田边界田埂共采集到蜘蛛、步甲、瓢虫、隐翅甲、蚂蚁和半翅目等捕食性节肢动物 10 101 头，其中辣椒-水稻(C-R)为 2 066 头，生姜-水稻(G-R)2 294 头，玉米-水稻(M-R)1 984 头，花生-水稻(P-R)2 278 头，水稻-水稻(R-R)1 479 头。对蜘蛛和捕食性昆虫进行分别分析表明，蜘蛛个体数量不论全年还是各季节各边界差异均不显著($P>0.05$)(表 5，图 3：A)。多作稻田边界(除 M-R 外)的捕食性昆虫全年个体数量均显著高于单作稻田边界(R-R)($P<0.05$)(表 5)。年度内除了 6 月 30 日，多作稻田边界各季节均普遍高于单作稻田边界，其中以 G-R 最明显，分别在 6 月 30 日、7 月 15 日和 8 月 29 日显著高于单作稻田边界($P<0.05$)(图 3：B)。

表 5　多作与单作稻田边界地表捕食性天敌个体数量比较(武夷山，2007－2008)

Table 5　Population comparison of ground-dwelling predatory arthropods among different types of paddy borders in the polycultural and monocultural rice fields (Wuyishan, 2007－2008)

年份 Year	类群 Group	边界类型 Border type	个体数量 Population	F 值 F ratio	P 值 P value
2007	蜘蛛 Spiders	C-R	12.120 ± 1.840	0.971	0.429
		G-R	12.000 ± 2.165		
		M-R	12.067 ± 1.767		
		P-R	11.747 ± 1.938		
		R-R	9.600 ± 1.949		
	捕食性昆虫 Predatory insects	C-R	15.427 ± 2.112 b	2.626	0.042
		G-R	18.587 ± 3.461 b		
		M-R	14.387 ± 1.976 ab		
		P-R	18.627 ± 3.607 b		
		R-R	9.960 ± 1.654 a		
2008	蜘蛛 Spiders	C-R	14.720 ± 2.901	0.445	0.776
		G-R	14.560 ± 1.911		
		M-R	12.893 ± 1.795		
		P-R	17.947 ± 2.897		
		R-R	11.867 ± 1.832		
	捕食性昆虫 Predatory insects	C-R	32.253 ± 3.277 b	8.586	<0.001
		G-R	31.000 ± 2.949 b		
		M-R	32.947 ± 3.310 b		
		P-R	37.760 ± 3.425 b		
		R-R	20.440 ± 2.826 a		

表中种群数量为平均值 ± 标准误(样本数量 = 75)。同年同一类群数据后标有不同小写字母表示经 LSD 检验差异显著($\alpha=0.05$)。Population size is described by mean ± SE (number of samples = 75). Values marked with different letters in the same group of each year differ significantly from each other at the 5% level (LSD). (C-R：辣椒-水稻 Chili-rice；G-R：生姜-水稻 Ginger-rice；M-R：玉米-水稻 Maize-rice；P-R：花生-水稻 Peanut-rice；R-R：水稻-水稻 Rice-rice).



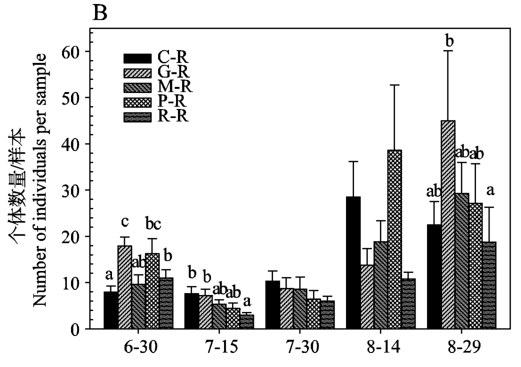
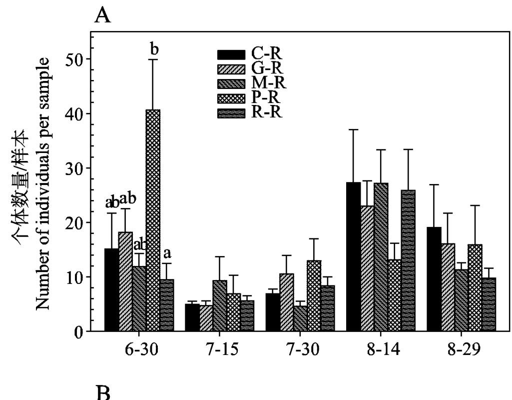


图 3　多作与单作稻田边界地表捕食性节肢动物个体数量季节动态比较(武夷山，2007)

Fig. 3　Comparison on seasonal dynamics of ground-dwelling predatory arthropods among different types of paddy borders in the polycultural and monocultural rice fields (Wuyishan, 2007)

同一调查日期柱形图上标有不同小写字母的表示经 LSD 检验在 $\alpha=0.05$ 水平差异显著。Bars with different lower case letters in the same sampling date are significantly different at $\alpha=0.05$ (LSD). A：蜘蛛 Spiders；B：捕食性昆虫 Predatory insects. C-R：辣椒-水稻 Chili-rice；G-R：生姜-水稻 Ginger-rice；M-R：玉米-水稻 Maize-rice；P-R：花生-水稻 Peanut-rice；R-R：水稻-水稻 Rice-rice。图 4，5，8 同。The same for Figs. 4, 5 and 8.

2008 年在稻田边界田埂共采集到捕食性节肢动物 16 979 头，其中 C-R 为 3 523 头，G-R 3 417 头，M-R 3 438 头，P-R 4 178 头，R-R 2 423 头。分析表明，各边界蜘蛛个体数量全年和各季节差异均不显著($P>0.05$)，除了 6 月 30 日 P-R 显著高于 R-R($P<0.05$)(表 5，图 4：A)。多作稻田边界的捕食性昆虫全年个体数量均显著高于单作稻田边界(R-R)($P<0.05$)(表 5)。年度内多作稻田边界各季节均普遍高于单作稻田边界，其中以 7 月 30 日、8 月 14 日和 8 月 29 日(除了 8 月 14 日的 G-R)，多作稻田边界均显著高于单作稻田边界($P<0.05$)(图 4：B)。



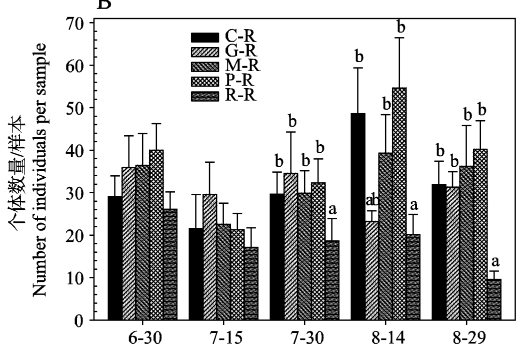


图4 多作与单作稻田边界地表捕食性节肢动物个体数量季节动态比较(武夷山,2008)

Fig. 4 Comparison on seasonal dynamics of ground-dwelling predatory arthropods among different types of paddy borders in the polycultural and monocultural rice fields (Wuyishan, 2008)

2.4 地表捕食性节肢动物在稻田和非稻田生境间的迁移动态

2007 全年稻田生境迁出的蜘蛛个体数量总体大于非稻田生境迁出量(除辣椒生境外),但是二者差异均不显著($P > 0.05$)(图5: A);而捕食性昆虫从稻田生境迁出量总体显著大于非稻田生境迁出量,其中以 C-R 和 P-R 的迁出迁入差异显著($P < 0.01$),但捕食性昆虫从稻田生境迁出量略低于生姜和玉米生境迁出量($P > 0.05$)(图5: B)。

进一步通过季节动态分析发现,稻田生境蜘蛛个体迁出量在前 3 次调查中总体大于非稻田生境迁出量,仅在后期(8 月 29 日)低于非稻田生境,但二者迁移在各次调查中差异不显著($P > 0.05$)(图 6: A)。对各具体生境间迁移进一步分析发现,稻田生境蜘蛛个体迁出量略低于辣椒和生姜生境迁出量(辣椒除了 7 月 30 日,生姜除了 7 月 15 日),而略高于花生生境迁出量(除 8 月 14 日),与玉米生境迁出量则互有高低变化,但是各次在统计学上也均无显著差异($P > 0.05$)(图 6)。由此可见,蜘蛛在稻田-花生地的迁移对稻田-非稻田蜘蛛的总体迁移影响最大,起主导作用。

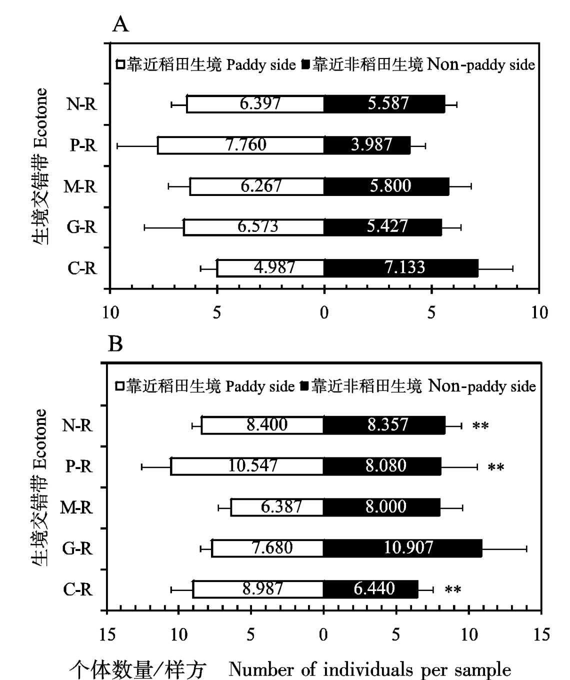


图5 多作田中地表捕食性节肢动物在稻田与非稻田生境间的迁移(武夷山,2007)

Fig. 5 Movement of ground-dwelling predatory arthropods between rice and non-rice habitats within the polycultural fields (Wuyishan, 2007)

** 表示数据经成对 t 检验在 $\alpha = 0.01$ 水平上差异显著。** The paired data are significantly different at $\alpha = 0.01$ (paired-samples t test).

稻田生境捕食性昆虫个体迁出量在各次调查中(除 8 月 29 日外)总体大于非稻田生境迁出量,其中 6 月 30 日和 7 月 30 日的 2 次调查差异显著($P < 0.05$)。对各具体生境间迁移进一步分析发现,稻田生境捕食性昆虫个体迁出量在各次调查中均大于辣椒和花生生境迁出量,其中在 6 月 30 日至 7 月 30 日,水稻-辣椒间的迁移有显著差异($P < 0.05$);在 7 月 30 日,水稻-花生间的迁移有显著差异($P < 0.05$)。而水稻-生姜和水稻-玉米间的迁移则差异不显著($P > 0.05$)(图 7)。由此可见,捕食性昆虫在稻田-辣椒地和稻田-花生地的迁移对稻田-非稻田捕食性昆虫的总体迁移影响最大,起主导作用。

2008 全年稻田生境迁出的蜘蛛个体数量总体均略低于非稻田生境迁出量,但是二者差异均不显著($P > 0.05$)(图 8: A);而捕食性昆虫从稻田生境迁出量总体略大于非稻田生境迁出量,但二者差异不显著($P > 0.05$)。对各具体生境间迁移进一步分

析发现，捕食性昆虫从稻田生境迁出量显著大于玉米和花生生境迁出量($P<0.05$)，但略低于辣椒生境迁出量，与生姜生境迁出量差异细微($P>0.05$)(图8：B)。

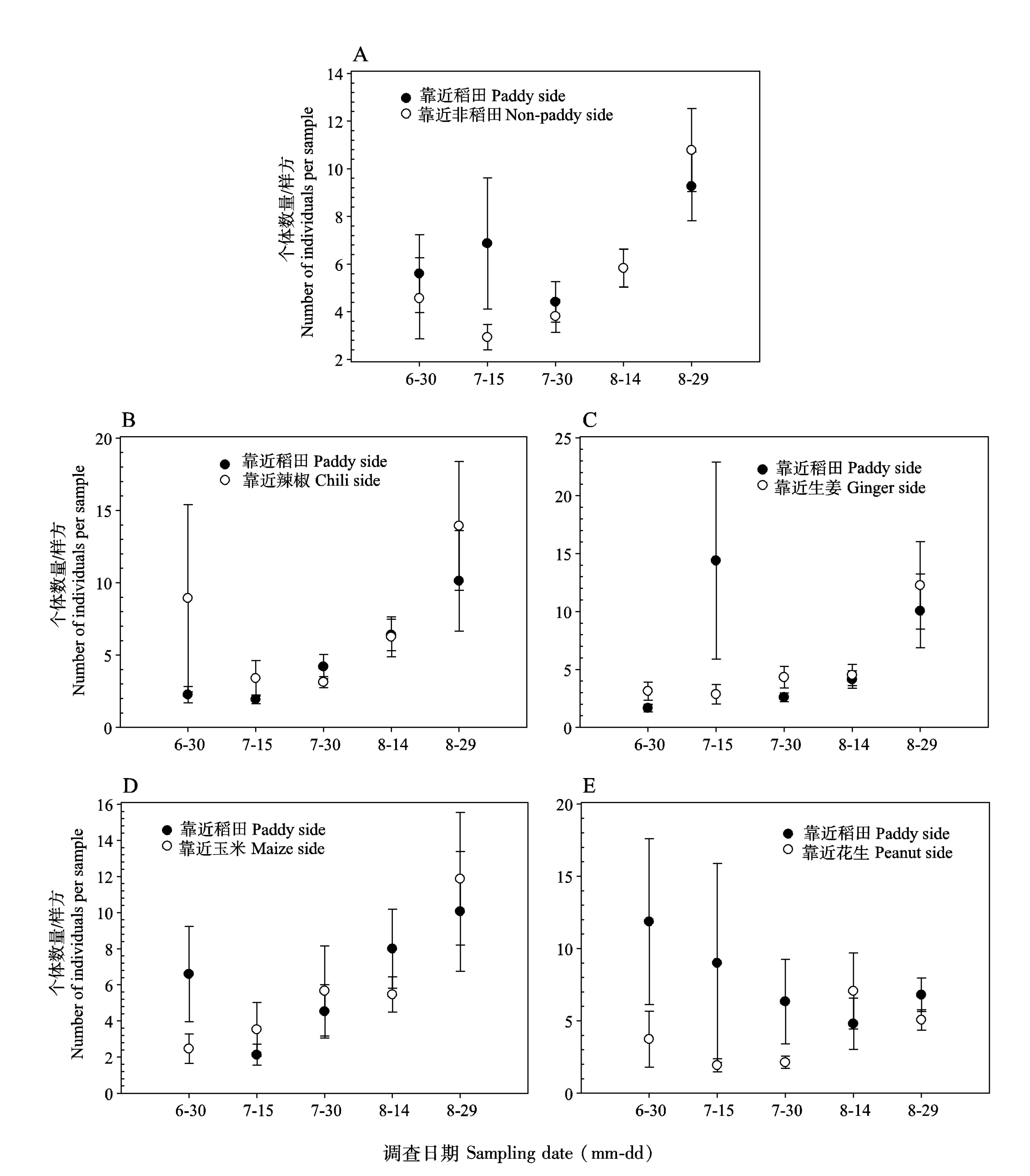


图6　多作田中蜘蛛在稻田与非稻田生境间的迁移动态(武夷山,2007)

Fig. 6　Movement dynamics of spiders between rice and non-rice habitats within the polycultural fields (Wuyishan, 2007)

A：稻田-非稻田 Paddy-non-paddy；B：稻田-辣椒地 Paddy-chili；C：稻田-生姜地 Paddy-ginger；D：稻田-玉米地 Paddy-maize；E：稻田-花生地 Paddy-peanut. 图7，9，10 同。The same for Figs. 7, 9 and 10.

A

● 靠近稻田 Paddy side
○ 靠近非稻田 Non-paddy side

B

● 靠近稻田 Paddy side
○ 靠近辣椒 Chili side

C

● 靠近稻田 Paddy side
○ 靠近生姜 Ginger side

D

● 靠近稻田 Paddy side
○ 靠近玉米 Maize side

E

● 靠近稻田 Paddy side
○ 靠近花生 Peanut side

个体数量/样方 Number of individuals per sample

6-30 7-15 7-30 8-14 8-29

调查日期 Sampling date (mm-dd)

图 7 多作田中捕食性昆虫在稻田与非稻田生境间的迁移动态(武夷山, 2007)

Fig. 7 Movement dynamics of predatory insects between rice and non-rice habitats within the polycultural fields (Wuyishan, 2007)

* 同一调查日期的成对数据经成对 *t* 检验在 α = 0.05 水平上差异显著。* The paired data from the same sampling date are significantly different at α = 0.05 (paired-samples *t* test). 图 9, 10 同。The same for Figs. 9 and 10.

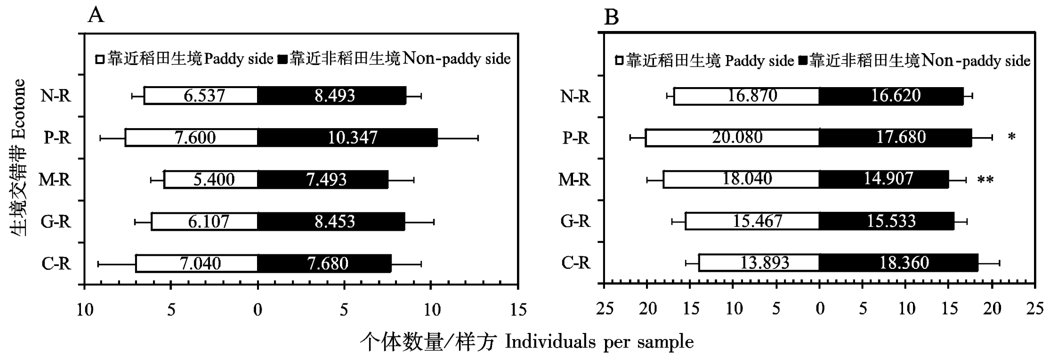


图 8 多作田中地表捕食性节肢动物在稻田与非稻田生境间的迁移(武夷山, 2008)

Fig. 8 Movement of ground-dwelling predatory arthropods between rice and non-rice habitats within the polycultural fields (Wuyishan, 2008)

* 和 ** 表示数据经成对 *t* 检验分别在 α = 0.05 和 0.01 水平上差异显著。* and ** The paired data are significantly different at α = 0.05 and 0.01, respectively (paired-samples t test).

进一步通过季节动态分析发现，稻田生境蜘蛛个体迁出量在各次调查中(除 7 月 30 日外)总体均低于非稻田生境迁出量，但各次调查二者差异均不显著($P > 0.05$)(图 9：A)。对各具体生境间迁移进一步分析发现，稻田生境蜘蛛个体迁出量与非稻田生境迁出量在各次调查中差异均不显著($P > 0.05$)，除了 8 月 29 日显著低于生姜地迁出量，8 月 14 日显著低于玉米生境迁出量($P < 0.05$)，前期蜘蛛在稻田-花生地的迁移对稻田-非稻田生境蜘蛛的总体迁移影响最大，后期以稻田-玉米地和稻田-生姜地的迁移对蜘蛛的总体迁移影响最大(图 9)。

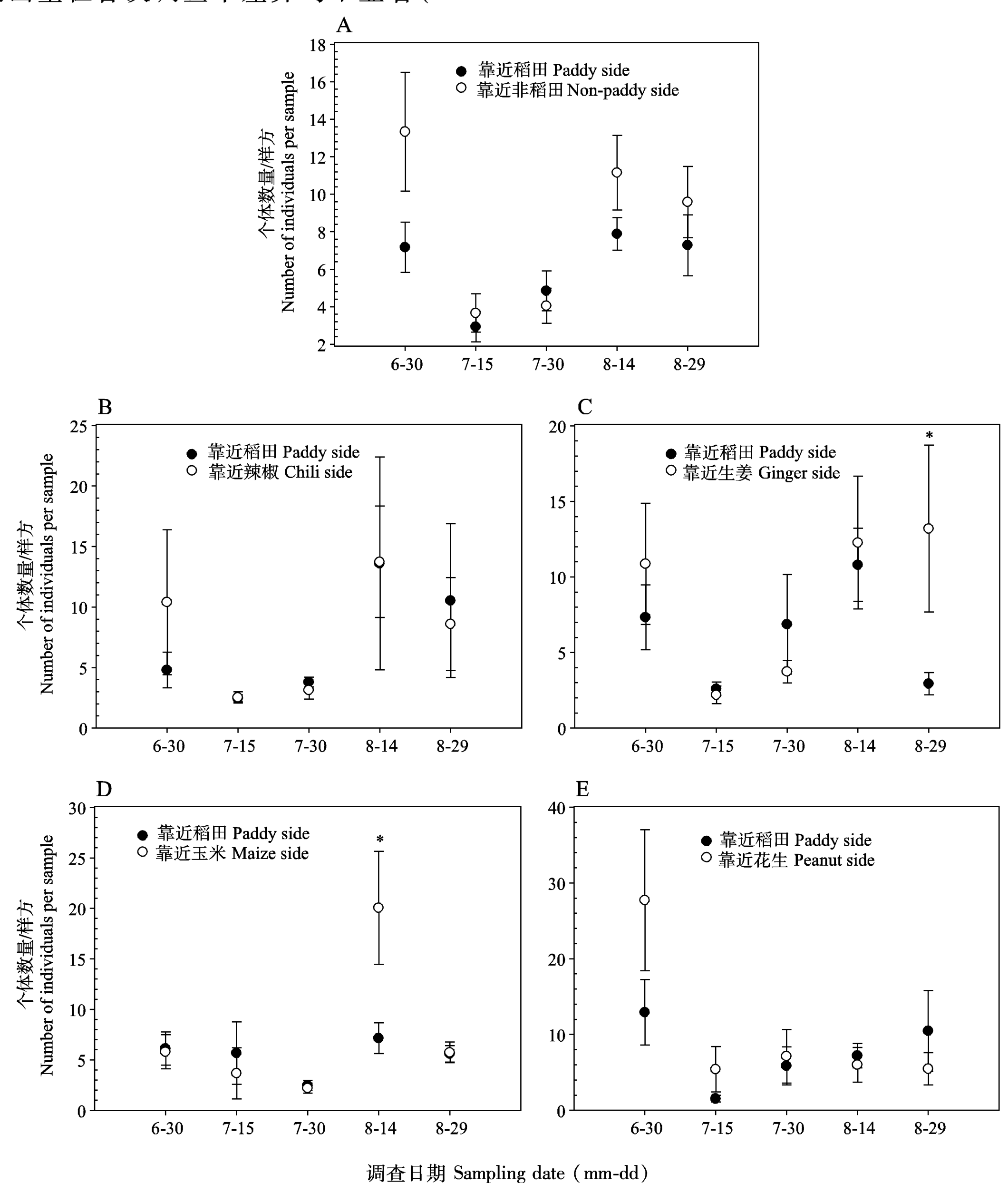


图 9　多作田中蜘蛛在稻田与非稻田生境间的迁移动态(武夷山，2008)

Fig. 9　Movement dynamics of spiders between rice and non-rice habitats within the polycultural fields (Wuyishan, 2008)

稻田生境捕食性昆虫个体迁出量在各次调查中总体均大于非稻田生境迁出量，其中 7 月 15 日二者差异显著($P < 0.05$)(图 10：A)。对各具体生境间迁移进一步分析发现，稻田生境捕食性昆虫个体迁出量在各次调查中均普遍大于玉米地和花生地迁出量，其中在 7 月 15 日二者间的迁移有显著差异($P < 0.05$)(图 10：C，D)。在水稻-辣椒和水稻-生姜的迁移中，分别表现为前期稻田迁出量大于非稻田迁出量，而后期则相反(图 10：A，B)，其中在 8 月 14 日，稻田生境迁出量显著低于辣椒生境迁出

量($P<0.05$)。由此可见，捕食性昆虫在稻田-玉米地和稻田-花生地的迁移对稻田-非稻田捕食性昆虫的总体迁移影响最大，起主导作用。

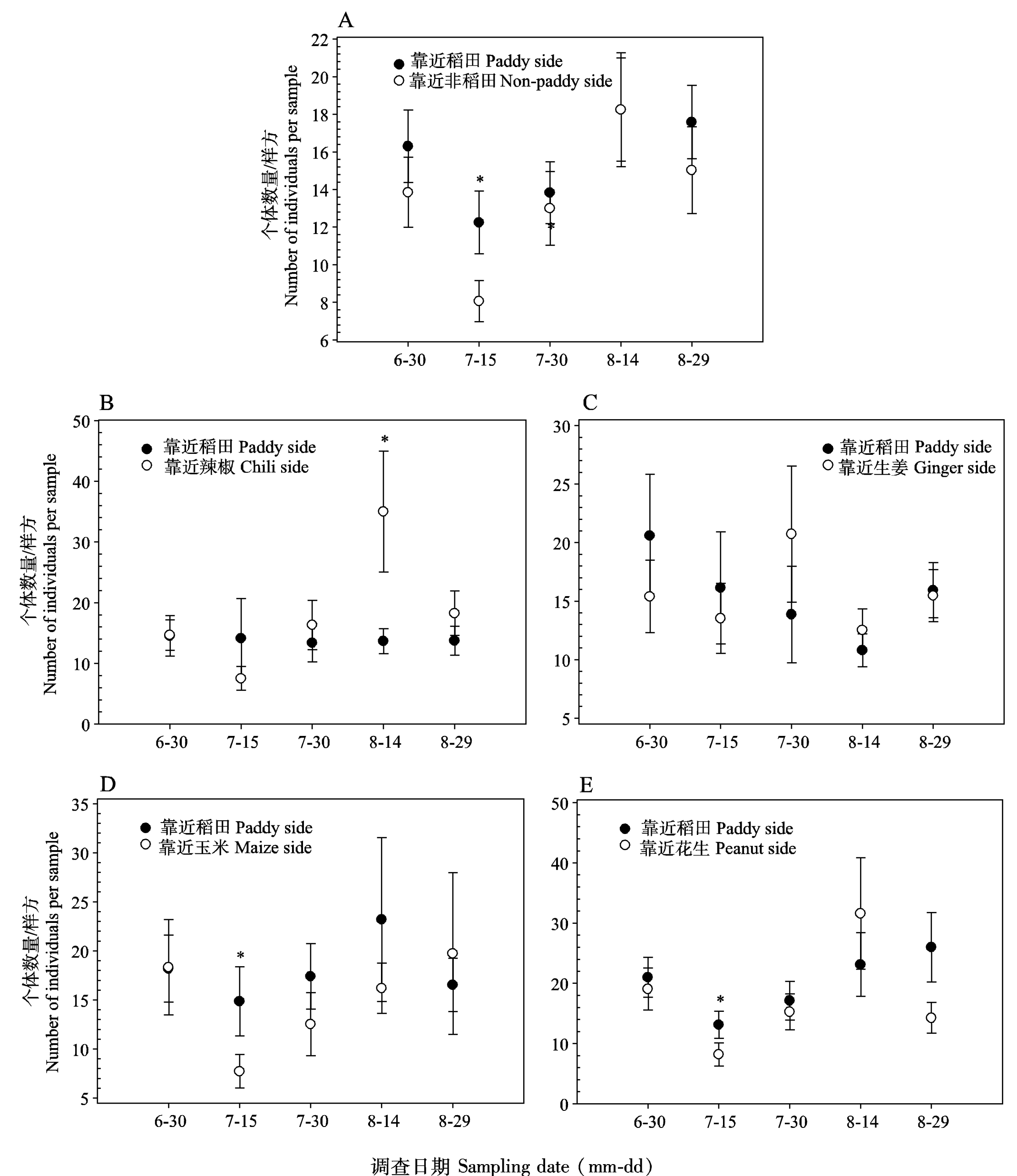


图 10 多作田中捕食性昆虫在稻田与非稻田生境间的迁移动态(武夷山, 2008)

Fig. 10 Movement dynamics of predatory insects between rice and non-rice habitats within the polycultural fields (Wuyishan, 2008)

3 讨论

许多研究表明，增加作物生境及其植被多样性，能够增加天敌的种群数量，降低或抑制有害节肢动物的种群密度(刘雨芳, 2000)。多样性的农田生态系统能够对害虫造成复杂的视觉和嗅觉刺激，从而扰乱其对寄主植物的搜寻(吕昭智等, 2005)。另外，多样性的农田生态系统可以为天敌提供丰富的食物资源和避难所，对早期作物的害虫天敌有很好的保护和助长作用(Landis *et al.*, 2000)。如在非洲，Khan 等(1997, 2000)发现，田间间作糖蜜草和金钱草对高粱和玉米蛀螟有强拒避作用，并能在“推-拉”作物系统中有效增加蜘蛛的个体数量(Midega *et al.*, 2008)。刘志龙等(1999)研究发现，稻田附近的茶园、大豆土坎、杂草小灌木斜坡和石缝田坎可为稻田提供丰富的捕食性天敌资源，并能有效减少用药次数，对稻飞虱起到很好的控制

作用。

本研究发现，与辣椒、生姜、玉米和花生等镶嵌种植的稻田，其稻纵卷叶螟幼虫及其寄生蜂功能团个体数量较单一稻田差异不大，而捕食性节肢动物（蜘蛛和昆虫）则明显少于单作稻田，但多作稻田边界较单作稻田边界却有更多的捕食性天敌个体数量。究其原因，主要由于多作系统中捕食性天敌更偏好从稻田向非稻田生境迁移，而此时正值非稻田生境中作物生长旺盛，辣椒、花生和玉米的田间覆盖度高，遮阴好，湿度大，拥有更丰富的食物资源，有利于给捕食性天敌提供优良的生存环境（Agnew and Smith，1989；刘雨芳等，1999b；尤民生等，2004a；吕昭智等，2005）。在不同时期，该 4 种非稻作物对捕食性天敌的迁移有不同程度的影响，其中以生姜作用最弱，这可能与生姜在整个季节中生长缓慢，植株小，田间覆盖度差等有关。

本研究试图利用非寄主作物对害虫的拒避作用和对天敌的吸引作用，形成有效的“推-拉”效应，达到对水稻害虫的生态控制。但在一定程度上却适得其反，反而引起捕食性天敌迁出稻田，降低了稻田内天敌的个体数量。Corbett 和 Plant（1993）研究发现，间作植物要成为天敌的源（source）必须在受保护作物萌发前定植好，否则间作植物将会成为天敌的汇（sink），影响天敌对受保护作物害虫的控制效能，而且天敌的移动能力也会影响该效应的大小，从而影响天敌的空间格局，认为在开展小尺度研究时更应该注意田间设计和天敌迁移的互作效应。尤民生等（2004b）总结已有资料认为，在设计农田植被管理策略时必须考虑：作物的时空安排，田间及其周围环境非栽培作物的植被组成及数量，土壤类型，周围的环境条件和管理方式及强度等。Hooks 和 Johnson（2003）认为，要降低害虫的种群密度可以考虑和采用如下几种策略：（1）生境调控类型和伴生植物的选择；（2）伴生植物定植的合适时机；（3）非寄主植物的空间配置；（4）植物挥发物作为伴生作物选择的标准；（5）陷阱作物的选择；（6）引诱天敌的多样化作物。因此，在今后利用生物多样性控制水稻害虫研究上，有必要进一步改进和优化作物田间时空配置，增加对控害有正效应作用的生物多样性因子，避免无效或负效应的生物多样性因子，形成对水稻害虫有控制作用，对天敌控害有增效作用的作物时空多样性种植模式。

致谢　本研究在农业部“亚热带农业生物灾害与治理”重点开放实验室和福建省高等学校“农业生物多样性与生态安全”重点实验室完成。

参 考 文 献（References）

Agnew CW, Smith JW, 1989. Ecology of spiders (Araneae) in a peanut agroecosystem. *Environ. Entomol.*, 18(1): 30－42.

Andow DA, 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annu. Rev. Entomol.*, 36(1): 561－586.

Chamberlain K, Khan Z, Pickett J, Toshova T, Wadhams L, 2006. Diel periodicity in the production of green leaf volatiles by wild and cultivated host plants of stemborer moths, *Chilo partellus* and *Busseola fusca*. *J. Chem. Ecol.*, 32(3): 565－577.

Cook SM, Khan ZR, Pickett JA, 2007. The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annu. Rev. Entomol.*, 52(1): 375－400.

Corbett A, Plant RE, 1993. Role of movement in the response of natural enemies to agroecosystem diversification: a theoretical evaluation. *Environ. Entomol.*, 22: 519－531.

Hansen J, New T, 2005. Use of barrier pitfall traps to enhance inventory surveys of epigaeic Coleoptera. *J. Insect Conserv.*, 9(2): 131－136.

Hooks CRR, Johnson MW, 2003. Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. *Crop Prot.*, 22: 223－238.

Khan Z, Midega C, Hassanali A, Pickett J, Wadhams L, Wanjoya A, 2006a. Management of witchweed, *Striga hermonthica*, and stemborers in sorghum, *Sorghum bicolor*, through intercropping with greenleaf desmodium, *Desmodium intortum*. *Int. J. Pest Manage.*, 52(4): 297－302.

Khan Z, Midega C, Hutter N, Wilkins R, Wadhams L, 2006b. Assessment of the potential of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) varieties as trap plants for management of *Chilo partellus*. *Entomol. Exp. Appl.*, 119(1): 15－22.

Khan Z, Midega C, Wadhams L, Pickett J, Mumuni A, 2007. Evaluation of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) varieties for use as trap plants for the management of African stemborer (*Busseola fusca*) in a push-pull strategy. *Entomol. Exp. Appl.*, 124(2): 201－211.

Khan Z, Pickett J, Gurr G, Wratten S, Altieri M, 2004. The ‘push-pull’ strategy for stemborer management: a case study in exploiting biodiversity and chemical ecology. In: Gurr GM, Wratten SD, Altieri MA eds. Ecological Engineering for Pest Management: Advances in Habitat Manipulation for Arthropods. CABI Publishing, Wallingford, OX, UK. 155－164.

Khan Z, Pickett J, Wadhams L, Muyekho F, 2001. Habitat management strategies for the control of cereal stemborers and striga in maize in Kenya. *Insect Sci. Appl.*, 21: 375－380.

Khan ZR, Ampong-Nyarko K, Chiliswa P, Hassanali A, Kimani S, Lwande W, Overholt WA, Pickett JA, Smart LE, Wadhams LJ, Woodstock CM, 1997. Intercropping increases parasitism of pests. *Nature*, 388: 631－632.

Khan ZR, Pickett JA, van den Berg J, Wadhams LJ, Woodcock CM, 2000. Exploiting chemical ecology and species diversity: Stem borer and striga control for maize and sorghum in Africa. *Pest Manage. Sci.*, 56(11): 957 -962.

Landis DA, Wratten SD, Gurr GM, 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.*, 45: 175 -201.

Liu Y, Wang JQ, Feng XD, Jiang XH, 2008. Analysis of nationwide occurrence of *Cnaphalocrocis medinalis* in 2007 and its occrurrence forecast in 2008. *China Plant Protection*, 28(7): 33 -35. [刘宇, 王建强, 冯晓东, 蒋学辉, 2008. 2007 年全国稻纵卷叶螟发生实况分析与 2008 年发生趋势预测. 中国植保导刊, 28(7): 33 -35]

Liu YF, Zhang GR, Gu DX, 1999a. Studies on arthropod community in paddy fields by adapted suction sampler. *Plant Protection*, 25(6): 39 -40. [刘雨芳, 张古忍, 古德祥, 1999a. 利用改装的吸虫器研究稻田节肢动物群落. 植物保护, 25(6): 39 -40]

Liu YF, Zhang GR, Gu DX, 1999b. Spider community in peanut fields. *Acta Arachnologica Sinica*, 8(2): 85 -88. [刘雨芳, 张古忍, 古德祥, 1999b. 花生田蜘蛛群落的研究. 蛛形学报, 8(2): 85 -88]

Liu YF, Zhang GR, Gu DX, 2000. Effect and the acting mechanisms of the habitats and vegetational diversity on arthropod community in agroecosystem. *Journal of Xiangtan Normal University*, 21(6): 74 -78. [刘雨芳, 张古忍, 古德祥, 2000. 农田生态系统中生境与植被多样性对节肢动物群落的影响及其作用机制探讨. 湘潭师范学院学报, 21(6): 74 -78]

Liu ZL, Wang LS, Du YX, Yu XP, Lü ZX, Zheng XS, Mei XQ, Pan HP, 1999. The dispersal patterns of predators between single-season rice fields and the neighboring non-rice habitats, and its application in conserving natural enemies of rice pests. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 11(6): 344 -348. [刘志龙, 王连生, 杜一新, 俞晓平, 吕仲贤, 郑许松, 梅晓青, 潘慧萍, 1999. 捕食性天敌在单季稻田与非稻田生境间的迁移规律及其保护利用. 浙江农业学报, 11(6): 344 -348]

Lü ZZ, Li JB, Tian WD, Tian CY, 2005. Ecological functions and mechanism of biodiversity in controlling insect pests in agro-ecosystems. *Arid Zone Research*, 22(3): 400 -404. [吕昭智, 李进步, 田卫东, 田长彦, 2005. 生物多样性在害虫控制中的生态功能与机理. 干旱区研究, 22(3): 400 -404]

Midega CAO, Khan ZR, van den Berg J, Ogol CKPO, Dippenaar-Schoeman AS, Pickett JA, Wadhams LJ, 2008. Response of ground-dwelling arthropods to a 'push-pull' habitat management system: Spiders as an indicator group. *J. Appl. Entomol.*, 132(3): 248 -254.

van den Berg J, 2006. Oviposition preference and larval survival of *Chilo partellus* (Lepidoptera: Pyralidae) on Napier grass (*Pennisetum purpureum*) trap crops. *Int. J. Pest Manage.*, 52: 37 -44.

van den Berg J, De Bruyn A, Van Hamburg H, 2006. Oviposition preference and survival of the maize stem borer, *Busseola fusca* (Lepidoptera: Noctuidae), on Napier grasses, *Pennisetum* spp., and maize. *Afr. Entomol.*, 14(2): 211 -218.

You MS, Hou YM, Liu YF, Yang G, Li ZS, Cai HJ, 2004a. Non-crop habitat manipulation and integrated pest management in agroecosystems. *Acta Entomologica Sinica*, 47(2): 260 -268. [尤民生, 侯有明, 刘雨芳, 杨广, 李志胜, 蔡鸿娇, 2004a. 农田非作物生境调控与害虫综合治理. 昆虫学报, 47(2): 260 -268]

You MS, Liu YF, Hou YM, 2004b. Biodiversity and integrated pest management in agroecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 4(1): 117 -122. [尤民生, 刘雨芳, 侯有明, 2004b. 农田生物多样性与害虫综合治理. 生态学报, 24(1): 117 -122]

Yu XP, Lü ZX, Chen JM, Zheng XS, Xu HX, Tao LY, Heong KL, 1999. Techniques of sampling and trapping for monitoring the movements of arthropods in rice ecosystem. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 11(6): 325 -332. [俞晓平, 吕仲贤, 陈建明, 郑许松, 徐红星, 陶林勇, Heong KL, 1999. 水稻害虫及其天敌在生境间迁移的监测方法和原理. 浙江农业学报, 11(6): 325 -332]

Zehnder G, Gurr GM, Kühne S, Wade MR, Wratten SD, Wyss E, 2007. Arthropod pest management in organic crops. *Annu. Rev. Entomol.*, 52(1): 57 -80.

(责任编辑: 袁德成)